

УДК 519.872.4

DOI:10.25729/ESI.2026.43.3.006

Перспективы использования систем массового обслуживания для моделирования работы маркетплейсов

Туренова Ирина Алексеевна, Моисеева Светлана Петровна, Шкленник Мария Александровна

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, Томск, irenaturena@yandex.ru

Аннотация. В условиях постоянно растущего числа онлайн-платформ и усиливающейся конкуренции между маркетплейсами, оптимизация их работы и повышение эффективности управления становятся актуальными задачами. Математическое моделирование процессов продаж на маркетплейсах позволяет предсказать изменения условий и минимизировать риски. Модели должны учитывать различные факторы, такие, как сезонность спроса, конкуренция, изменения в логистике и политике маркетплейсов. Это помогает поставщикам оптимизировать цены, запасы и логистические процессы, что снижает финансовые потери и повышает устойчивость бизнеса. Маркетплейсы, такие, как Amazon, Wildberries или Ozon, ежедневно обрабатывают огромное количество транзакций и взаимодействий с клиентами, что требует разработки математических моделей систем управления и прогнозирования. В настоящей статье рассмотрены математические модели на основе систем массового обслуживания (СМО) с описанием их принципов и возможного применения в электронной коммерции. Для прогнозирования потоков клиентов, а также для оптимизации воронки продаж на маркетплейсах предлагаются модели массового обслуживания одно- и двухфазные с повторными обращениями, позволяющие спрогнозировать параметры планируемой маркетинговой акции и оценить ее влияние на доход и клиентскую базу. Для моделирования воронки продаж предлагаются многофазные модели, оценивающие время нахождения потенциального покупателя на соответствующем уровне воронки, что дает возможность оценить эффективность различных этапов воронки и выявить узкие места, которые могут снижать конверсию; разработать рекомендации по оптимизации воронки продаж, например, путём изменения дизайна интерфейса, улучшения системы поиска или предложения более выгодных условий оплаты; прогнозировать объём продаж и оптимизировать запасы товаров на основе анализа потоков заявок на разных этапах воронки. Статья закладывает основу для дальнейших исследований по адаптации этих моделей к реальным процессам, включая эмпирическую валидацию, определение параметров и разработку алгоритмов для оптимизации стратегий продаж селлеров.

Ключевые слова: маркетплейс, воронка продаж, экономико-математическое моделирование, вероятностные методы, системы массового обслуживания, потоки заявок, повторные обращения, многофазные СМО

Цитирование: Туренова И.А. Перспективы использования систем массового обслуживания для моделирования работы маркетплейсов / И.А. Туренова, С.П. Моисеева, М.А. Шкленник // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2026. – № 3(43). – С. 70-82. – DOI:10.25729/ESI.2026.43.3.006.

Введение. В современном мире маркетплейсы становятся всё более популярными и востребованными. Они представляют собой платформы, где продавцы (селлеры) и покупатели могут взаимодействовать друг с другом, обеспечивая тем самым эффективный канал сбыта продукции [1]. Одним из ключевых преимуществ маркетплейсов является возможность сокращения расходов на рекламу. Благодаря таргетированным рекламным инструментам продавцы могут более эффективно привлекать целевую аудиторию, что особенно важно в условиях конкуренции. Кроме того, маркетплейсы предлагают удобные каналы дистрибуции для малого и микробизнеса. Это особенно актуально в рамках политики импортозамещения, когда малые предприятия могут использовать маркетплейсы для расширения своего присутствия на рынке [2]. Конкуренция на маркетплейсах среди предприятий малого бизнеса способствует поиску уникальных производственных и экономических решений.

Для потребителей маркетплейсы также предлагают ряд преимуществ, включая:

- Время. Покупки на маркетплейсах могут быть более удобными и быстрыми, поскольку предлагают широкий выбор товаров и возможность сравнить цены от разных продавцов.
- Выбор. На маркетплейсах представлен огромный ассортимент товаров, что позволяет потребителям найти именно то, что им нужно.
- Удобство. Особенно это актуально для людей с ограниченными возможностями и семей с детьми. Удобство совершения покупок может повысить качество жизни и социальную удовлетворённость населения.

Эффективная работа таких платформ требует оптимизации множества процессов, включая обработку заказов, логистику и управление ресурсами. В условиях высокой конкуренции на рынке маркетплейсы должны обеспечивать быструю и эффективную обработку заказов, чтобы удовлетворить потребности клиентов и сохранить свою репутацию, и для их успешного функционирования необходимо применять различные методы моделирования. Одним из ключевых аспектов является прогнозирование спроса на товары с помощью алгоритмов машинного обучения, таких, как регрессионный анализ, временные ряды, ансамблевые методы и нейронные сети [3, 4]. Эти инструменты позволяют анализировать исторические данные о продажах, сезонность и тренды, что помогает маркетплейсам оптимизировать запасы, устанавливать цены и планировать маркетинговые кампании. Наконец, модели машинного обучения для персонализации предложений помогают увеличить конверсию и удовлетворённость клиентов, создавая более индивидуальный опыт для покупателей.

Оптимизация ассортимента достигается с помощью методов линейного, целочисленного программирования и многокритериальной оптимизации [5]. Они помогают определить оптимальный набор товаров, максимизирующий прибыль или удовлетворяющий другие критерии эффективности. Управление запасами осуществляется с помощью моделей EOQ (Economic Order Quantity – «модель экономически обоснованного размера заказа»), ROP (Reorder Point – модель "точки заказа") и MRP (Material Requirements Planning – модель планирования потребностей в материалах), которые определяют оптимальные объёмы заказов и точки предзаказа. Это минимизирует затраты на хранение и предотвращает дефицит товаров [6]. Для оптимизации логистических процессов используется аппарат транспортного моделирования, маршрутизации и управления цепями поставок (SCM – Supply Chain Management) [7, 8]. Эти модели минимизируют затраты на логистику и улучшают обслуживание клиентов. Ценообразование на маркетплейсах оптимизируется с помощью моделей динамического ценообразования, учитывающих данные о спросе, конкуренции и затратах [9, 10]. Также применяются модели на основе предельной полезности и эластичности спроса [11]. Интегрированные модели объединяют методы прогнозирования спроса, оптимизации ассортимента, управления запасами и логистики, что позволяет достичь более высокой эффективности работы маркетплейса [12]. В некоторых работах используются модели на основе теории игр для понимания поведения участников маркетплейса и оптимизации стратегий [13, 14].

Таким образом, в руках маркетолога в наши дни может находиться широкий спектр инструментов для анализа и оптимизации различных сфер работы маркетплейса, однако многие из них теряют свою актуальность в связи с трансформацией экономических процессов и поведения клиентов. Например, популярные аналитические модели ценообразования основаны на предположениях относительно характера спроса на товары, очевидно не соответствующих реальной обстановке на цифровых платформах. Это закономерно, если принимать во внимание, что разрабатывались они в иное время и для иного рынка. Большинство используемых классических моделей и методов обладают преимуществом

легкости расчетов, и это сделало их популярными. Однако в современных коммерческих процессах уже невозможно игнорировать необходимость учитывать множество разнообразных факторов, влияющих на спрос (сезонность, трендовость, спрос на товары-компаньоны, транзакционный оффер, производство рекламного контента и пр.), так что быстрое преимущество сегодня попросту лишает такие модели адекватности. Однако все те же классические модели зачастую ложатся в основу алгоритмов разрабатываемых современных инструментов, что незамедлительно лишает их прогнозы желаемой точности [12].

В то же время, очевидной отличительной чертой современных процессов в сфере электронной торговли является массовость. Современные цифровые инструменты прекрасно приспособлены для обработки и работы с большими данными. На сегодняшний день такие инструменты наиболее актуальны и востребованы, так как позволяют анализировать информацию о поведении клиента на всех этапах воронки продаж. Однако даже на основании сверхточных исходных данных, прогноз, выдаваемый такими инструментами, будет основан на статистических методах и моделях, обладающих значительной степенью абстракции.

Обратимся к истокам статистических методов и заметим, что в том случае, когда наблюдается массовость явлений в условиях некоторой неопределенности, статистические методы преобразуются в вероятностные, а значит, и для моделирования процессов маркетингового взаимодействия вероятностные модели и методы окажутся адекватными.

1. Преимущества математических моделей на основе СМО. Теория массового обслуживания (ТМО) – это раздел прикладной математики, который изучает процессы, связанные с массовым обслуживанием. Она может быть использована для анализа и моделирования работы маркетинговых платформ, где множество покупателей и продавцов взаимодействуют друг с другом [15]. Для анализа различных процессов и явлений в работе платформы существует возможность выбора модели, оптимально отражающей необходимые аспекты и учитывающей значимые особенности поведения клиентов. Например, маркетинговые платформы часто сталкиваются с пиковыми нагрузками в праздничные сезоны, выходные дни и другие периоды повышенного спроса. Случайный характер потока заявок и время обслуживания приводят к неравномерной загрузке системы, что может вызвать как перегрузку каналов, так и их недогрузку. Для оптимизации работы СМО необходимо разработать стратегии управления потоками заявок, включая автоматическое масштабирование ресурсов в зависимости от текущей нагрузки [16, 17]. Теория массового обслуживания (ТМО) позволяет определить оптимальный вариант работы системы, минимизируя затраты от простоев каналов обслуживания, потерь времени и ресурсов. На маркетинговых платформах это включает в себя определение нужного количества касс, пунктов выдачи заказов, а также оптимальное распределение нагрузки между ними. Например, на крупных маркетинговых платформах, таких как Amazon, используется динамическое распределение заказов между складами в зависимости от текущей загрузки, что позволяет снизить время доставки и повысить удовлетворенность клиентов. Прогнозирование потоков клиентов на маркетинговых платформах позволяет оптимизировать работу системы, повысить эффективность бизнеса и улучшить качество обслуживания [18].

Итак, математические модели на основе СМО имеют ряд преимуществ, которые делают их незаменимыми инструментами для прогнозирования потоков клиентов на маркетинговых платформах:

1. Точность прогнозирования. Модели позволяют учесть множество факторов, влияющих на потоки клиентов, таких, как сезонность, праздничные дни, конкуренция, экономические условия, поведение пользователей и другие. Это обеспечивает более точное прогнозирование по сравнению с интуитивными методами или простыми статистическими моделями. Результаты анализа приведенных далее в качестве примеров СМО проходили сравнение с

результатами, полученными с помощью имитационного моделирования, и показали хорошую точность [19].

2. Гибкость. Модели могут быть адаптированы под конкретные условия работы маркетплейса, включая структуру системы, параметры потока заявок и другие факторы. Далее на примерах некоторых систем будет показано, как изменение структуры системы и введение отдельных параметров может быть связано с задачами анализа [20].

3. Возможность оптимизации. Модели позволяют определить оптимальные параметры работы СМО, такие, как количество каналов обслуживания, количество сотрудников, распределение нагрузки и другие. Это способствует снижению затрат, повышению производительности и улучшению качества обслуживания [21].

4. Прогнозирование поведения системы в различных условиях. Модели позволяют предсказать поведение системы в различных сценариях, таких, как изменение спроса, увеличение конкуренции, введение новых продуктов и другие. Это помогает принимать обоснованные решения и эффективно планировать ресурсы. Например, можно использовать модель для прогнозирования влияния введения новых категорий товаров на потоки клиентов и оптимизировать структуру системы для их обработки [22].

2. Некоторые модели массового обслуживания для процессов электронной коммерции.

Рассмотрим некоторые примеры возможного применения моделей в виде СМО. Наиболее простой моделью, позволяющей прогнозировать поведение покупателей, является система $M|GI|\infty$ с повторными обращениями [23]. Она позволяет анализировать отдельно потоки уже зарегистрированных пользователей маркетплейса и новых клиентов. В этой модели моменты совершения покупок новыми клиентами представляют собой события входящего потока, в то время как поток повторных покупок постоянных пользователей формируется по завершении стадии обслуживания, моделирующей время удовлетворенности покупателя до появления желания оформления следующего заказа. Система имеет неограниченное число обслуживающих линий, то есть число клиентов никак не ограничено моделью и может также прогнозироваться. Учитывается и вероятность того, что клиент может остаться неудовлетворенным и выберет другую платформу для дальнейшего обслуживания, то есть учитываются потери покупателей. (рис.1)

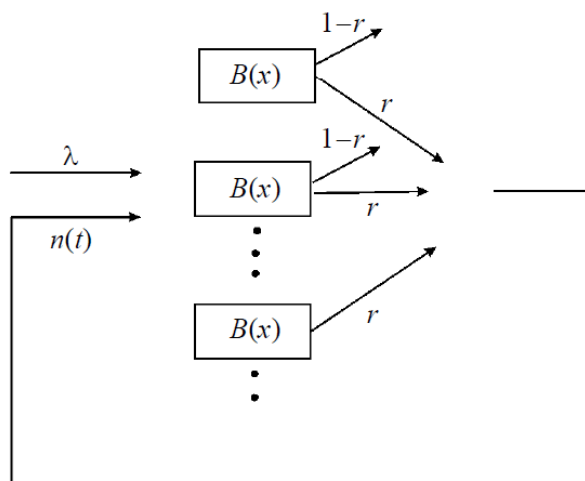


Рис. 1. Система $M|GI|\infty$ с повторными обращениями

Здесь предварительной статистической оценки требует интенсивность входящего потока λ , а также вероятность совершения повторной покупки r . Эта модель подойдет для анализа продаж широкого спектра товаров и услуг, так как распределение вероятностей времени

удовлетворенности клиента $B(x)$ произвольное, то есть может выбираться в зависимости от специфики реализуемого товара. Для данной модели получено аналитическое выражение для производящей функции распределения вероятностей двумерного случайного процесса, характеризующего потоки новых клиентов и постоянных пользователей маркетплейса за время наблюдения t :

$$G(x, y, t) = \exp \left\{ (x-1)\lambda t + r(y-1) \int_0^t h(x, y, s) ds \right\} \quad (1)$$

где функция $h(x, y, s)$ определяется из интегрального уравнения:

$$h(x, y, t) = \frac{\lambda}{1-r} + \left(\lambda x - \frac{\lambda}{1-r} \right) B(t) + ry \int_0^t b(t-s) h(x, y, s) ds, \quad (2)$$

а функция

$$b(t-s) = \left. \frac{\partial B(z+t-s)}{\partial z} \right|_{z=0}. \quad (3)$$

Таким образом, в работе [23] показано, что, так как полученная производящая функция $G(x, y, t)$ исследуемого двумерного распределения не равна произведению производящих функций одномерных распределений, то, очевидно, потоки новых и постоянных клиентов являются зависимыми и их анализ необходимо проводить только совместно.

На примере этой модели также можно продемонстрировать достигаемую точность моделирования. Полученное аналитическим путем распределение числа повторных обращений сравнивалось с таковым, полученным в результате имитационного моделирования. Например, для входящего простейшего потока с параметром $\lambda=3$, времени обслуживания, имеющего Гамма-распределение с параметром формы 3,5, вероятности возвращения $r=0,56$ и времени наблюдения $t=1$, получены эмпирическая и теоретическая функции распределения, представленные на рисунке 2.

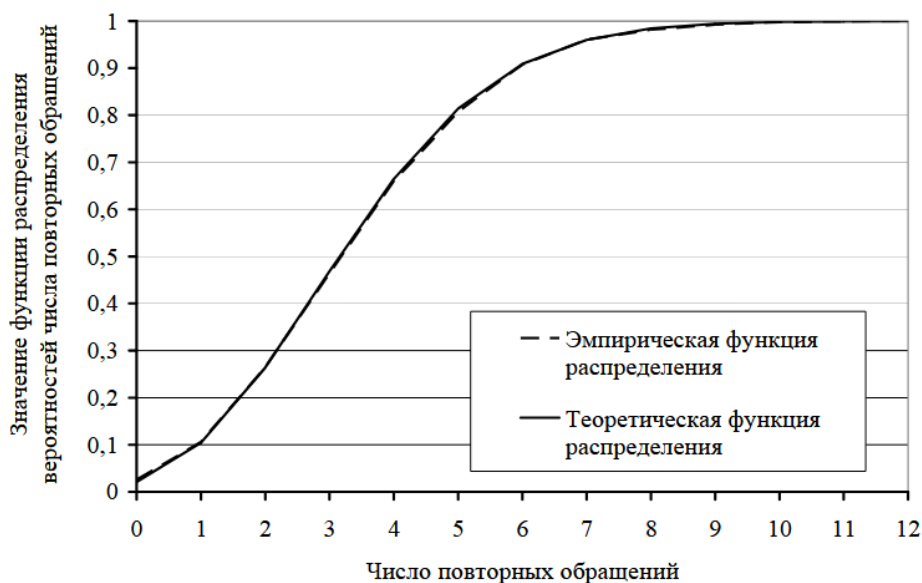


Рис. 2. Теоретическая и эмпирическая функции распределения вероятностей числа повторных обращений в системе

В приведенном примере значение статистики Хи-квадрат составило 10,8, что не превосходит порогового значения 67,5 при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$ и количестве степеней свободы 50. Для случая с входящим МАР-потокм были построены доверительные интервалы для точечных оценок распределения вероятностей числа повторных обращений и получено, что, согласно правилу трех сигм, с вероятностью 0,9973 абсолютная величина отклонения оценок не превышает 0,003.

Рассмотрим другой пример, когда нам необходимо спрогнозировать параметры планируемой маркетинговой акции и оценить ее влияние на доход и клиентскую базу. В такой

ситуации можно воспользоваться моделью в виде двухфазной СМО с неограниченным числом линий и реализацией повторных обращений к фазам [24]. В этой модели более детально рассматриваются потоки постоянных пользователей и происходит их условное деление на две категории. Например, совершая покупку на определенную сумму или просто приобретая VIP-аккаунт, клиент приобретает особый статус, то есть переходит на другую фазу обслуживания. На каждой из фаз клиент может оставаться неограниченное число раз, как бы возвращаясь для повторного обслуживания. Схематично образующиеся потоки клиентов можно изобразить, как показано на рисунке 3. Модель учитывает тот факт, что время между покупками обычных клиентов и имеющих VIP-подписку будет распределено по-разному, эти функции распределения времени удовлетворенности клиента отмечены на рисунке как $B_1(x)$ и $B_2(x)$. Таким образом, в модели помимо входящего потока новых клиентов, рассматривается формирование еще двух потоков постоянных клиентов двух категорий, с вероятностью r_1 и r_2 оформления повторных заказов соответственно, а также вероятностью q покупки VIP-аккаунта, то есть перехода из первой во вторую категорию.

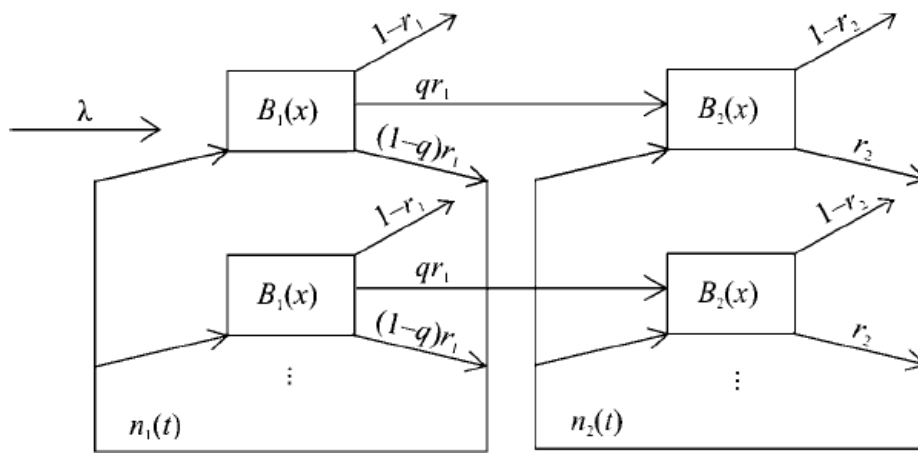


Рис. 3. Двухфазная СМО с повторными обращениями к фазам

Эта модель также не имеет ограничений на специфику товара или размер клиентской базы, то есть является достаточно универсальной и легко настраивается. Она позволяет определять и прогнозировать процесс изменения дохода компании, его среднее значение и дисперсию, оценивать влияние на доход транзакционных офферов¹.

Например, выражение для нахождения среднего дохода в общем случае имеет вид:

$$MS(t) = a \left\{ \lambda t + r_1 \int_0^t f_1(1, s) ds + r_2 \int_0^t f_2(1, s) ds \right\}, \quad (4)$$

где функции $f_1(x, t)$ и $f_2(x, t)$ определяются решением интегральных уравнений:

$$f_1(x, t) = \frac{\lambda}{1 - r_1(1 - q)} + \lambda \left(x - \frac{1}{1 - r_1(1 - q)} \right) B_1(t) + x r_1(1 - q) \int_0^t b_1(t - s) f_1(x, s) ds,$$

$$f_2(x, t) = \frac{\lambda}{1 - r_1(1 - q)(1 - r_2)} (1 - B_2(t)) + x r_1 q \int_0^t b_2(t - s) f_1(x, s) ds +$$

$$+ x r_2 \int_0^t b_2(t - s) f_2(x, s) ds,$$

а $b_1(t - s)$ и $b_2(t - s)$ определяются аналогично (3).

В частности, в работе [24] приведен численный пример по продажам в некоторой компании. Планировалась акция «Подарок за покупку» и необходимо было оптимизировать

¹ Оффер – конкретное, выгодное предложение о сотрудничестве или сделке.

стоимость предлагаемого подарка в зависимости от цели проведения акции. При средней стоимости покупки 3000 рублей и около 10 обращений новых клиентов в день, за месяц работы компания, не проводя акции, получит доход 1,2 млн рублей с продажи данного вида товара. Анализ показал, что максимальная прибыль от проведения акции достигается при установлении стоимости подарка в 1000 рублей. Число продаж при этом возрастает примерно в 1,5 раза. Если же компания не желает получать никакой дополнительной прибыли от проведения акции, а стремится только увеличить клиентскую базу и число продаж, то эта цель достигается при стоимости подарка равной 1700 рублей, число продаж компании возрастет более чем в два раза. Дальнейшее же увеличение стоимости подарка будет временно уменьшать доход компании. Для построения прогноза модель предварительно настраивалась: оценивались параметр входящего потока, вероятности перехода на вторую фазу и потери клиента, выбирался вид распределения, характерный для данного вида продаж.

3. Моделирование воронки продаж на маркетплейсах. Воронка продаж – это модель, которая описывает путь клиента от первого контакта с товаром до совершения покупки. На маркетплейсах воронка продаж может быть сложной и многоуровневой, включая этапы поиска товара, добавления его в корзину, оформления заказа, оплаты и доставки.

Моделирование воронки продаж на основе методов ТМО позволяет: оценить эффективность различных этапов воронки и выявить узкие места, которые могут снижать конверсию; разработать рекомендации по оптимизации воронки продаж, например, путём изменения дизайна интерфейса, улучшения системы поиска или предложения более выгодных условий оплаты; прогнозировать объём продаж и оптимизировать запасы товаров на основе анализа потоков заявок на разных этапах воронки.

Методы ТМО могут быть использованы для моделирования различных параметров воронки продаж, таких, как: интенсивность потока заявок на каждом этапе воронки; среднее время, затрачиваемое клиентами на переход от одного этапа к другому; вероятность потери клиента; прогноз числа клиентов на каждом уровне воронки в интересующий момент времени. Это позволяет более точно оценить эффективность воронки продаж и разработать стратегии для её оптимизации.

В качестве уже существующей модели СМО, хорошо подходящей под эту задачу, можно рекомендовать СМО с неограниченным числом фаз и линий [25], схема которой приведена на рисунке 4.

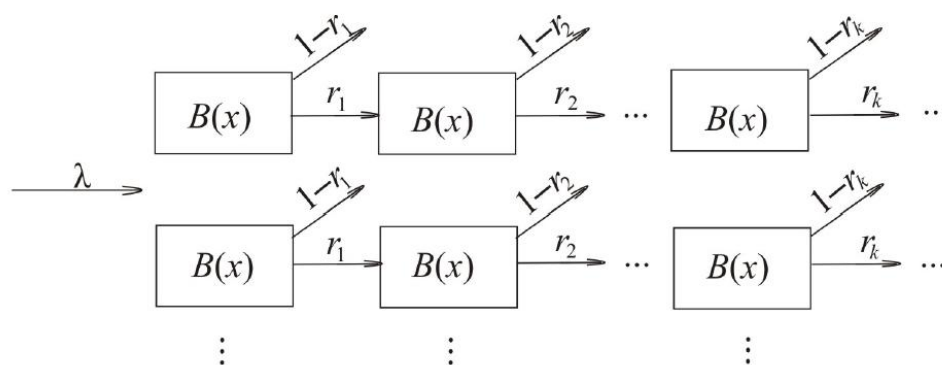


Рис. 4. СМО с неограниченным числом фаз и линий

В этой модели время обслуживания на каждой фазе моделирует время нахождения потенциального покупателя на соответствующем уровне воронки. Распределение времени вновь произвольное и может задаваться, исходя из конкретной реальной ситуации. Вероятности r_i представляют вероятности продвижения клиента с i -го уровня воронки вглубь. Так как модель не накладывает ограничений на число фаз, она универсальна и может как

настраиваться под уже известную структуру воронки, так и дает возможность определения оптимального числа уровней в рамках конкретной коммерческой задачи. Однако модель не учитывает различий в распределении времени пребывания клиента на различных уровнях воронки и должна быть модифицирована.

В случае необходимости анализа с учетом дальнейших повторных покупок система также может быть модифицирована до многофазной бесконечнолинейной СМО с неограниченным числом линий и мгновенной обратной связью на последней фазе (рис. 5) [26]. В этой модели число фаз фиксировано, но может выбираться соответственно исследуемой воронке продаж. Формирование потока повторных обращений на последней фазе позволяет проводить анализ не только процесса продвижения клиентов по воронке, но и дальнейшее их поведение в качестве постоянных клиентов. Недостатком модели является относительная узость ее применения в связи с экспоненциальным временем удовлетворенности клиента. Это может накладывать ограничения на специфику товара или временные рамки проводимого анализа.

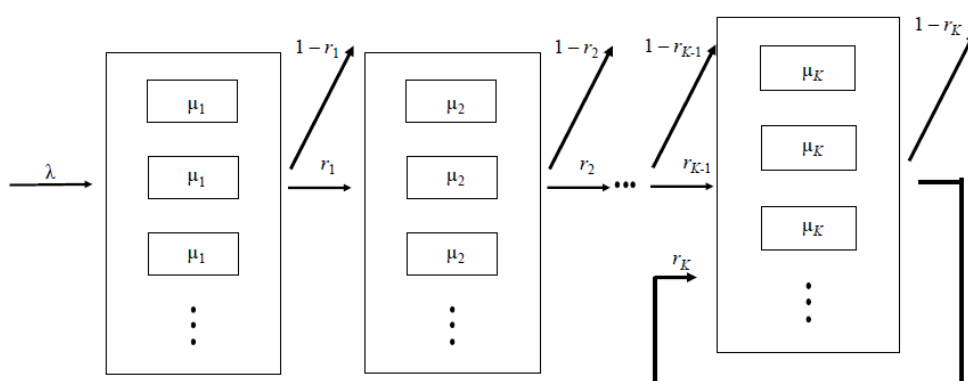


Рис. 5. СМО с неограниченным числом линий и повторными обращениями на последней фазе

В работе [27] рассматривается СМО, которая позволяет не только моделировать потоки потенциальных покупателей, продвигающихся вглубь воронки продаж, но и учитывать вероятность возврата клиента на некоторый уровень, после которого клиент может снова углубляться для совершения покупки или совсем покидать воронку. Здесь также рассматривается экспоненциальное время удовлетворенности клиента, что сужает область возможного применения этой модели (рис.6).

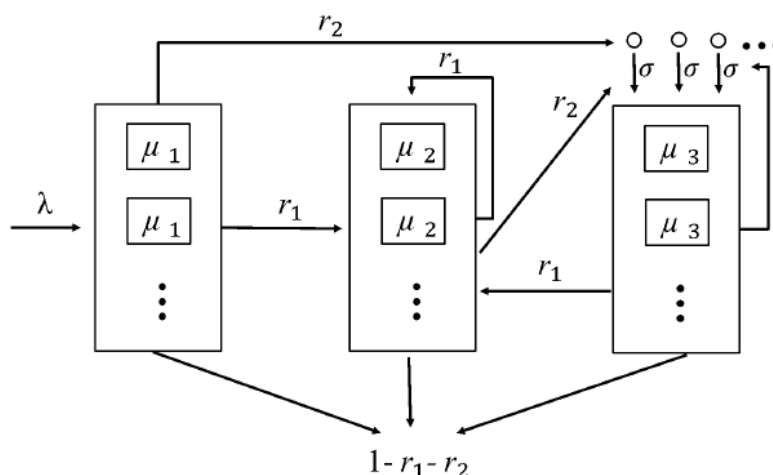


Рис.6. Система массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих устройств с мгновенной и отсроченной обратной связью

Такая модель применима для оптимизации параметров транзакционного оффера для контент-воронки или при построении триал-воронки. При этом параметр σ в модели характеризует случайное время потребления пробного товара или контента, предоставляемого на очередном этапе воронки, учитываются возможности движения потенциального клиента между уровнями воронки, а также многократное потребление пробного товара или рекламного контента, что является отличительной чертой этой модели.

В работах [25-27] получены аналитические выражения для распределения вероятностей исследуемых многомерных случайных процессов, и они могут непосредственно использоваться в рамках исследования процесса продаж, если соответствующая модель применима без дополнительных модификаций, или могут служить ориентиром для проведения похожих исследований новых модифицированных моделей.

Заключение. В условиях растущей конкуренции на рынке маркетплейсы должны постоянно искать пути оптимизации своих процессов. Модели на основе СМО могут стать ценным инструментом для достижения этой цели, обеспечивая более эффективное использование ресурсов и повышение качества обслуживания клиентов. Они дают возможность учесть специфику работы маркетплейсов, связанную с большим количеством участников и разнообразием товаров, обеспечивают достаточно точное моделирование потоков заказов и ресурсов, что позволяет оптимизировать их распределение и использование; учитывают динамический характер потоков заявок при моделировании воронки продаж; позволяют проводить глубокий анализ влияния различных параметров на работу системы. Это дает возможность выявлять узкие места и оптимизировать их, повышая общую эффективность работы маркетплейса и воронки продаж.

Стоит отметить, что все приведенные в работе модели являются аналитическими и обладают всеми преимуществами и универсальностью последних. Они могут как использоваться самостоятельно, так и быть основой алгоритмов разрабатываемых цифровых инструментов и имитационных моделей, позволяя существенно повышать точность последних.

В настоящей статье приведены примеры моделей, которые в дальнейшем будут адаптированы под конкретные задачи маркетплейсов с учетом особенностей поведения пользователей, наличия трендов, социальной коммерции и иных запросов на оптимизацию. Запланировано проведение комплекса исследований на тему адаптации систем и методов ТМО для моделирования процессов электронной коммерции. В рамках данного комплекса будут определены оптимальные методы оценки параметров моделей на основе реальных данных, сформирован набор моделей, востребованных для программной реализации и создания пользовательского интерфейса, с целью дальнейшей апробации на рынке.

Список источников

1. Бувич А.П. Маркетплейсы как ключевое звено современных каналов сбыта // Экономика, предпринимательство и право, 2024. – № 6. – С. 2875-2884. – DOI: 10.18334/epp.14.6.121249
2. Панова Е.А. Возможности маркетплейсов в развитии и повышении конкурентоспособности малых и средних предприятий // Государственное управление. Электронный вестник, 2021. – № 89. – С. 52–61. – DOI: 10.24412/2070-1381-2021-89-52-61
3. Вишневский В.М. Методы машинного обучения в решении задачи прогнозирования спроса на отдельные виды товаров / В.М. Вишневский, Ю.Л. Леохин, Т.Дж. Фатхулин, А.В. Занегин // Т-Comm, 2024. – № 10. – С. 34-43. –10.36724/2072-8735-2024-18-10-34-43
4. Вардомацкая Е.Ю. Экономико-математические методы и модели в логистике: конспект лекций. – Витебск: УО «ВГТУ», 2020. – 76 с.
5. Шориков А.Ф. Многокритериальная оптимизация формирования ассортимента продукции предприятия / А.Ф. Шориков, Е.С. Рассадина // Экономика региона, 2010. – № 2. – С. 189-196.
6. Мироседи С.А. Управление оптимальным объемом запасов / С.А. Мироседи, Т.Г. Мироседи, А.Ю. Севрюк // Инновационная наука, 2016. – № 12-1. – С. 150-152.

7. Иванова Л.Н. Методы оптимизации и алгоритм маршрутизации в транспортной логистике / Л.Н. Иванова, С.Е. Иванов // Экономика. Право. Инновации, 2024. – № 4. – С. 21–29. – DOI:10.17586/2713-1874-2024-4-21-29
8. Жук М.А. Моделирование системы поддержки оптимизации логистических цепочек поставок / М.А. Жук, И.А. Цыганова // Инновации и инвестиции, 2016. – № 12. – С. 104-108.
9. Иваненко А.Р. Модели динамического и персонализированного ценообразования в условиях развития цифровой экономики / А.Р. Иваненко, Е.Г. Калабина // e-FORUM, 2022. – Т. 6, № 1.
10. Мансурова Н.А. Разработка и применение модели динамического ценообразования для сглаживания конкуренции на маркетплейсах / Н.А. Мансурова, Е.С. Грачев // Экономические исследования, 2025. – № 2. – EDN: HJTSDH
11. Корабейников И.Н. Исследование изменения эластичности спроса на товары // Шаг в науку, 2023. – № 2. – С. 4-10.
12. Сергеев С.А. Управление запасами в условиях маркетплейсов: почему не работают стандартные методы? // Вестник Академии знаний, 2024. – № 5 (64). – С. 357-373.
13. Унижаев Н.В. Использование теории игр для моделирования последствий управленческих решений экономической безопасности организации // Экономика, предпринимательство и право, 2022. – Т. 12, № 1. – С. 149-164.
14. Кравченко С.М. Использование теории игр для моделирования манипулирования отзывами на маркетплейсах // ИВД, 2025. – № 9 (129).
15. Лизакова Р.А. Особенности продажи товаров на маркетплейсах / Р.А. Лизакова, В. Челябинца // Умная цифровая экономика, 2022. – № 3. – С. 12–16.
16. Истомина А.А. Управление товарными запасами на основе теории массового обслуживания / А.А. Истомина, В.Я. Бадеников, А.Л. Истомин // Вестник СибГУТИ, 2017. – № 3 (39). – С. 94-103.
17. Wang Y., Cai C. Strategic behavior and optimal inventory level in a make-to-stock queueing system with retrial customers. Axioms, 2024, vol. 13, no. 5, p. 319, DOI: 10.3390/axioms13050319
18. Истомина А.А. Поддержка принятия решений при управлении многономенклатурными запасами в условиях неопределенности / А.А. Истомина, В.Я. Бадеников, А.Л. Истомин // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2017. – № 2 (6). – С. 104-112.
19. Захорольная И.А. Исследование математических моделей потоков в системах с неограниченным числом линий методом предельной декомпозиции: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 / Захорольная Ирина Алексеевна; Том. гос. ун-т. – Томск, 2012. – 171 с.
20. Zhang Y., Yue D., Wang J. A queueing-inventory system with lost sales and a general vacation policy. Journal of Industrial and Management Optimization, 2025, vol. 21, no. 6, pp. 4233-4258, DOI: 10.3934/jimo.2025051.
21. Rizki H., Yohandoko O. Restaurants using the M/M/c model: a case study during peak hours. International Journal of Global Operations Research, 2024, vol. 5, pp. 263-267.
22. Jacob J., Krishnamoorthy A. Product form solutions of some queueing inventory problems in random environment. Journal of Industrial and Management Optimization, 2023, vol. 19, pp. 1-16.
23. Моисеева С.П. Исследование потоков в системе $M|GI|\infty$ с повторными обращениями методом предельной декомпозиции / С.П. Моисеева, И.А. Ананина, А.А. Назаров // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика, 2009. – № 3(8). – С. 56-66.
24. Ананина И.А. Математическая модель процесса изменения дохода торговой компании, расширяющей свое присутствие на рынке // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика, 2011. – № 2(15). – С. 5-14.
25. Назаров А.А. Математическая модель процедуры пожизненной ренты / А.А. Назаров, И.А. Ананина // Известия Томского политехнического университета, 2011. – Т. 318, № 5. – С. 160-165.
26. Шкленник М.А. Исследование локального потока повторных обращений в многофазной системе массового обслуживания с неограниченным числом приборов / М.А. Шкленник, А.В. Подгайнов // Системы управления, информационные технологии и математическое моделирование: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – С. 316-323.
27. Лавриненко М.Д. Исследование бесконечнолинейной СМО с проверкой качества обработки при нестационарном режиме работы / М.Д. Лавриненко, М.А. Шкленник // ИТММ, 2024. – С. 208-213.

Туренова Ирина Алексеевна. Кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры теории вероятностей и математической статистики Института прикладной математики и компьютерных наук Национального исследовательского Томского государственного университета. Область научных интересов – математическое моделирование экономических систем, теория массового обслуживания, математический маркетинг. Автор работ, в которых применяет метод предельной декомпозиции для анализа потоков обращений в системах с неограниченным числом приборов и обратной связью, и применения результатов для решения оптимизационных

задач маркетинговых услуг. AuthorID: 1120518, SPIN: 2771-6158, ORCID: 0000-0002-4373-9206, irenaturena@yandex.ru. 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36.

Моисеева Светлана Петровна. Доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и математической статистики Института прикладной математики и компьютерных наук Национального исследовательского Томского государственного университета. Область научных интересов – теория массового обслуживания и ее приложения к анализу информационных, экономических и социальных систем. Автор оригинальных методов исследования систем массового обслуживания немарковских систем массового обслуживания с неограниченным числом приборов, в том числе асимптотических. AuthorID: 9513, SPIN: 7526-2190, ORCID: 0000-0001-9285-1555, smoiseeva@mail.ru. 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36.

Шкленник Мария Александровна. Кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры теории вероятностей и математической статистики Института прикладной математики и компьютерных наук Национального исследовательского Томского государственного университета. Область научных интересов – многофазные модели массового обслуживания с мгновенной обратной связью и методы их исследования. Автор модифицированного метода марковского суммирования для исследования потоков повторных обращений в системах с обратной связью. AuthorID: 937206, SPIN: 1790-5249, ORCID: 0000-0003-0993-8006, shklennikm@mail.ru 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36.

UDC 519.872.4

DOI:10.25729/ESI.2026.43.3.006

Prospects of using queuing systems for modeling the operation of marketplaces

Irina A. Turenova, Svetlana P. Moiseeva, Maria A. Shklennik

National research Tomsk state university,

Russia, Tomsk, irenaturena@yandex.ru

Abstract. With the constantly growing number of online platforms and intensifying competition among marketplaces, optimizing their operations and improving management efficiency are becoming crucial tasks. Mathematical modelling of sales processes on marketplaces allows predicting changes in conditions and minimizing risks. Models must consider various factors such as demand seasonality, competition, changes in logistics, and marketplace policies. This helps suppliers optimize prices, inventory, and logistics processes, reducing financial losses and enhancing business stability. Marketplaces like Amazon, Wildberries, or Ozon process an enormous number of transactions and customer interactions daily, requiring the development of mathematical models for management systems and forecasting. This article explores mathematical models based on queuing systems (QS) describing their principles and potential applications in e-commerce. For predicting customer flows and optimizing the sales funnel on marketplaces, single- and two-phase queuing models with repeated requests are proposed, allowing forecasting parameters of planned marketing campaigns and assessing their impact on revenue and customer base. For modelling the sales funnel, multi-phase models are suggested, estimating the time a potential buyer spends at each funnel level, enabling evaluation of the effectiveness of different funnel stages and identifying bottlenecks that can reduce conversion; developing recommendations for sales funnel optimization, such as changing interface design, improving search systems, or offering more favourable payment terms; and predicting sales volume and optimizing product inventory based on analysing application flows at different funnel stages. The article lays the foundation for further research on adapting these models to real processes, including empirical validation, parameter determination, and algorithm development for optimizing seller sales strategies.

Keywords: E-commerce platform, sales funnel, econometric-mathematical modelling, stochastic methods, queuing systems, request flows, repeat inquiries, multi-phase QS

References

1. Buevich A.P. Marketpleysy kak klyuchevoye zveno sovremennykh kanalov sbyta [Marketplaces as a key link in modern distribution channels]. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo* [Economics, Entrepreneurship and Law], 2024, no. 6, pp. 2875-2884, DOI: 10.18334/epp.14.6.121249.

2. Panova E.A. Vozmozhnosti marketpleysov v razvitii i povyshenii konkurentosposobnosti malyykh i srednikh predpriyatiy [Opportunities for marketplaces in the development and competitiveness enhancement of small and medium enterprises]. Gosudarstvennoye upravleniye. Elektronnyy vestnik [Public Administration. Electronic Bulletin], 2021, no. 89, pp. 52–61, DOI: 10.24412/2070-1381-2021-89-52-61.
3. Vishnevsky V.M., Leokhin Yu.L., Fathulin T.J., Zanegin A.V. Metody mashinnogo obucheniya v reshenii zadachi prognozirovaniya sprosa na otdel'nyye vidy tovarov [Machine learning methods for solving the problem of demand forecasting for certain types of goods]. T-Comm, 2024, no. 10, pp. 34-43, DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-10-34-43.
4. Vardomatskaya E.Yu. Ekonomiko-matematicheskiye metody i modeli v logistike: konspekt lektsiy [Economic-mathematical methods and models in logistics: lecture notes]. Vitebsk, VSTU Publ., 2020, 76 p.
5. Shorikov A.F., Rassadina E.S. Mnogokriterial'naya optimizatsiya formirovaniya assortimenta produktsii predpriyatiya [Multi-criteria optimization of the formation of an enterprise's product assortment]. Ekonomika regiona [Economics of the Region], 2010, no. 2, pp. 189-196.
6. Mirosedi S.A., Mirosedi T.G., Sevryuk A.Yu. Upravleniye optimal'nym ob'yemom zapasov [Management of optimal inventory volume]. Innovatsionnaya nauka [Innovative Science], 2016, no. 12-1, pp. 150-152.
7. Ivanova L.N., Ivanov S.E. Metody optimizatsii i algoritm marshrutizatsii v transportnoy logistike [Optimization methods and routing algorithm in transport logistics]. Ekonomika. Pravo. Innovatsii [Economics. Law. Innovations], 2024, no. 4, pp. 21–29, DOI: 10.17586/2713-1874-2024-4-21-29.
8. Zhuk M.A., Tsyganova I.A. Modelirovaniye sistemy podderzhki optimizatsii logisticheskikh tsepochek postavok [Modeling a support system for optimizing logistics supply chains]. Innovatsii i investitsii [Innovations and Investments], 2016, no. 12, pp. 104-108.
9. Ivanenko A.R., Kalabina E.G. Modeli dinamicheskogo i personalizirovannogo tsenoobrazovaniya v usloviyakh razvitiya tsifrovoy ekonomiki [Models of dynamic and personalized pricing in the conditions of digital economy development]. e-FORUM, 2022, vol. 6, no. 1.
10. Mansurova N.A., Grachev E.S. Razrabotka i primeneniye modeli dinamicheskogo tsenoobrazovaniya dlya sglazhivaniya konkurentsii na marketpleysakh [Development and application of a dynamic pricing model for smoothing competition on marketplaces]. Ekonomicheskiye issledovaniya [Economic Studies], 2025, no. 2, EDN: HJTSDH.
11. Korabeinikov I.N. Issledovaniye izmeneniya elastichnosti sprosa na tovary [Study of changes in demand elasticity for goods]. Shag v nauku [Step into Science], 2023, no. 2, pp. 4-10.
12. Sergeev S.A. Upravleniye zapasami v usloviyakh marketpleysov: pochemu ne rabotayut standartnyye metody? [Inventory management in marketplace conditions: why do standard methods fail?]. Vestnik Akademii znaniy [Bulletin of the Academy of Knowledge], 2024, no. 5 (64), pp. 357-373.
13. Unizhaev N.V. Ispolzovaniye teorii igr dlya modelirovaniya posledstviy upravlencheskikh resheniy ekonomicheskoy bezopasnosti organizatsii [Using game theory to model the consequences of management decisions on the economic security of an organization]. Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo [Economics, Entrepreneurship and Law], 2022, vol. 12, no. 1, pp. 149-164.
14. Kravchenko S.M. Ispolzovaniye teorii igr dlya modelirovaniya manipulirovaniya otzyvami na marketpleysakh [Using game theory to model review manipulation on marketplaces]. IVD, 2025, no. 9 (129).
15. Lizakova R.A., Chelyapina V. Osobennosti prodazhi tovarov na marketpleysakh [Features of selling goods on marketplaces]. U mnaya tsifrovaya ekonomika [Smart Digital Economy], 2022, no. 3, pp. 12–16.
16. Istomina A.A., Badenikov V.Ya., Istomin A.L. Upravleniye tovarnymi zapasami na osnove teorii massovogo obsluzhivaniya [Inventory management based on queueing theory]. Vestnik SibGUTI [Bulletin of SibSUTI], 2017, no. 3 (39), pp. 94-103.
17. Wang Y., Cai C. Strategic behavior and optimal inventory level in a make-to-stock queueing system with retrial customers. Axioms, 2024, vol. 13, no. 5, p. 319, DOI: 10.3390/axioms13050319.
18. Istomina A.A., Badenikov V.Ya., Istomin A.L. Podderzhka prinyatiya resheniy pri upravlenii mnogonomenklaturnymi zapasami v usloviyakh neopredelennosti [Decision support in multi-item inventory management under uncertainty]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and Mathematical Technologies in Science and Management], 2017, no. 2 (6), pp. 104-112.
19. Zakhornaya I.A. Issledovaniye matematicheskikh modeley potokov v sistemakh s neogranichennym chislom liniy metodom predel'noy dekompozitsii [Study of mathematical models of flows in systems with an unlimited number of lines by the method of limiting decomposition]. PhD dissertation. Tomsk State University, Tomsk, 2012, 171 p.
20. Zhang Y., Yue D., Wang J. A queueing-inventory system with lost sales and a general vacation policy. Journal of Industrial and Management Optimization, 2025, vol. 21, no. 6, pp. 4233-4258, DOI: 10.3934/jimo.2025051.

21. Rizki H., Yohandoko O. Restaurants using the M/M/c model: a case study during peak hours. *International Journal of Global Operations Research*, 2024, vol. 5, pp. 263-267.
22. Jacob J., Krishnamoorthy A. Product form solutions of some queueing inventory problems in random environment. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 2023, vol. 19, pp. 1-16, DOI: 10.3934/jimo.2022226.
23. Moiseeva S.P., Ananina I.A., Nazarov A.A. Issledovaniye potokov v sisteme $M|GI|\infty$ s povtornymi obrashcheniyami metodom predel'noy dekompozitsii [Study of flows in the $M|GI|\infty$ system with retrials by the method of limiting decomposition]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravleniye, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of Tomsk State University. Control, Computer Engineering and Informatics], 2009, no. 3(8), pp. 56-66.
24. Ananina I.A. Matematicheskaya model' protsessa izmeneniya dokhoda trgovoy kompanii, rasshiryayushchey svoye prisutstviye na rynke [Mathematical model of the income change process of a trading company expanding its market presence]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravleniye, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of Tomsk State University. Control, Computer Engineering and Informatics], 2011, no. 2(15), pp. 5-14.
25. Nazarov A.A., Ananina I.A. Matematicheskaya model' protsedury pozhiznennoy renty [Mathematical model of the annuity procedure]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University], 2011, vol. 318, no. 5, pp. 160-165.
26. Shklenik M.A., Podgainov A.V. Issledovaniye lokal'nogo potoka povtornykh obrashcheniy v mnogofaznoy sisteme massovogo obsluzhivaniya s neogranichennym chislom priborov [Study of the local retrial flow in a multi-phase queueing system with an unlimited number of servers]. *Sistemy upravleniya, informatsionnyye tekhnologii i matematicheskoye modelirovaniye: materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Control Systems, Information Technologies and Mathematical Modeling: Proceedings of the V All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation], pp. 316-323.
27. Lavrinenko M.D., Shklenik M.A. Issledovaniye beskonechnolineynoy SMO s proverkoj kachestva obrabotki pri nestatsionarnom rezhime raboty [Study of an infinite-server queueing system with processing quality control under non-stationary operation mode]. *ITMM*, 2024, pp. 208-213.

Turenova Irina Alekseevna. *Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Probability Theory and Mathematical Statistics of the Institute of Applied Mathematics and Computer Science, National Research Tomsk State University. Research interests include mathematical modelling of economic systems, queueing theory, and mathematical marketing. The author has published works applying the method of limited decomposition to analyse request flows in systems with an unlimited number of servers and feedback and using the results to solve optimization problems in marketing services. AuthorID: 1120518, SPIN: 2771-6158, ORCID: 0000-0002-4373-9206, irenaturena@yandex.ru. 634050, Russia, Tomsk, Lenin Ave. 36.*

Moiseeva Svetlana Petrovna. *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Probability Theory and Mathematical Statistics, Institute of Applied Mathematics and Computer Science, National Research Tomsk State University. Research interests focus on queueing theory and its applications to the analysis of information, economic, and social systems. The author has developed original methods for studying queueing systems, including non-Markovian systems with an unlimited number of servers, with a particular emphasis on asymptotic methods. AuthorID: 9513, SPIN: 7526-2190, ORCID: 0000-0001-9285-1555, smoiseeva@mail.ru. 634050, Russia, Tomsk, Lenin Ave. 36.*

Shklennik Maria Alexandrovna. *Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Probability Theory and Mathematical Statistics, Institute of Applied Mathematics and Computer Science, National Research Tomsk State University. Research interests encompass multi-phase queueing models with instant feedback and methods for their analysis. The author has introduced a modified Markov summary method for studying repeated request flows in systems with feedback. AuthorID: 937206, SPIN: 1790-5249, ORCID: 0000-0003-0993-8006, shklennikm@mail.ru. 634050, Russia, Tomsk, Lenin Ave. 36.*

Статья поступила в редакцию 24.01.2026; одобрена после рецензирования 16.04.2026; принята к публикации 01.08.2026.

The article was submitted 01/24/2026; approved after reviewing 04/16/2026; accepted for publication 08/01/2026.